

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**БЕЗСОННИЙ ВІТАЛІЙ ЛЕОНІДОВИЧ**



УДК: 502.51(282.03):556.18:628.1(043.3)

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПОВЕРХНЕВИХ ДЖЕРЕЛ  
ВОДОПОСТАЧАННЯ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ БАСЕЙНОВОГО  
ПРИНЦИПУ УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Суми – 2018

**Дисертація є кваліфікаційною науковою працею на правах рукопису.**  
Робота виконана у Національному авіаційному університеті м. Київ  
Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник** – кандидат медичних наук, доцент  
**Халмурадов Батир Данатарович**  
Національний авіаційний університет (м. Київ)  
Міністерства освіти і науки України,  
доцент кафедри цивільної та промислової безпеки.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Адаменко Микола Ігорович**  
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна  
Міністерства освіти і науки України,  
завідувач кафедри охорони праці та безпеки  
життєдіяльності, м. Харків;

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник  
**Проскурнін Олег Аскольдович**  
Науково-дослідна установа «Український науково-  
дослідний інститут екологічних проблем»  
Міністерства екології та природних ресурсів України,  
старший науковий співробітник лабораторії проблем  
формування та регулювання якості вод, м. Харків.

Захист відбудеться 28 вересня 2018 р. о 10 год. 00 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04 Сумського державного університету за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, корп. Ц, ауд. 204.

Із дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Сумського державного університету за адресою: 40007, Україна, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, та на сайті спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04 за електронною адресою: <http://sumdu.edu.ua/ukr/scientific/scientific-council/32-scientific/scientific-council/5367.html>.

Автореферат розісланий 27 серпня 2018 року.

Учений секретар спеціалізованої  
вченої ради Д 55.051.04  
кандидат технічних наук



І.Ю. Аблєєва

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Вдосконалення управління екологічною безпекою на рівні басейнів річок набуло особливої актуальності у зв'язку із впровадженням в Україні вимог Водної рамкової директиви Європейського Союзу, посиленням вимог екологічної безпеки до джерел водопостачання та зростаючого впливу забруднюючих речовин на водні об'єкти. Відсутність діючих механізмів реалізації басейнового принципу управління, контролю і відповідальності за екологічний стан поверхневих джерел питного водопостачання призводить до того, що частіше за все основні техногенно-небезпечні об'єкти, які обумовлюють екологічний стан поверхневого джерела води, розташовані на території одних областей, а виготовлення і споживання питної води з цього джерела відбувається на території інших, що ускладнює ефективне управління екологічною безпекою поверхневих джерел водопостачання. Особливо це характерно для малозабезпечених поверхневими водними ресурсами регіонів України, розташованих у басейні р. Сіверський Донець, водні об'єкти якого є головними джерелами водопостачання східних областей держави. При цьому основним споживачем води є Донецька область (понад 50 % річного обсягу), а Харківська і Луганська області споживають приблизно однаковий об'єм води на рік (до 50 % річного обсягу). Вирішенню проблеми управління екологічною безпекою на рівні річкового басейну та інтегрованому управлінню водними ресурсами присвячені дослідження таких науковців, як В. А. Сташук, І. О. Єременко, В. Г. Пряжинська, М. А. Хвесик, І. Л. Головинський, О. В. Яроцька.

Україна ратифікувала Водну рамкову директиву Європейського Союзу (ЄС), взявши цим самим на себе зобов'язання щодо гармонізації водного законодавства у відповідності з європейським, але існують ще не вирішені питання: басейнові управління функціонують за басейново-адміністративним принципом, а не за басейновим, не досконале методичне забезпечення переходу до басейнового управління, функціонування системи екологічного моніторингу вод ускладнюється неузгодженими діями декількох суб'єктів екологічного моніторингу. В умовах впровадження положень Водної рамкової директиви все більшого значення набувають питання оперативного прогнозування впливу техногенних забруднень на поверхневі джерела водопостачання, що можливо з використанням індикаторних (сигнальних) показників стану екологічної безпеки водного об'єкта і дослідження комплексної оцінки на їх основі.

Таким чином, актуальними завданнями є обґрунтування індикаторних показників екологічного стану водного об'єкта, вдосконалення функціонування моніторингу вод, розробка методичного забезпечення ефективної реалізації оптимальних форм управління екологічною безпекою на рівні річкового басейну для підвищення екологічної безпеки поверхневих джерел водопостачання відповідно до вимог Водної рамкової директиви ЄС.

**Зв'язок роботи з науковими програмами.** Дисертаційна робота виконана відповідно до Загальнодержавної програми «Питна вода України на 2006–2020 роки», що затверджена Законом України від 03.03.2005 р., № 2455-IV, Державної цільової екологічної програми проведення моніторингу навколишнього природного середовища, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 5 грудня 2007 р. № 1376. Робота виконана відповідно до плану науково-дослідних

робіт кафедри цивільної та промислової безпеки Національного авіаційного університету за темою «Науково-методологічні засади оцінки впливу на навколишнє середовище об'єктів і процесів національної транспортної мережі» (номер держреєстрації 0111U002321) згідно з науково-технічною програмою Міністерства освіти і науки України, в яких автор брав участь як виконавець.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення рівня екологічної безпеки поверхневих джерел водопостачання шляхом удосконалення форм управління екологічною безпекою на рівні річкового басейну.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні завдання:

- виконати аналіз сучасних підходів і теоретико-методологічних засад управління екологічною безпекою поверхневих джерел водопостачання з урахуванням Водної рамкової директиви ЄС та наявного світового досвіду розроблення екологічного моніторингу і обґрунтування методик визначення екологічного ризику;

- дослідити вплив техногенно-небезпечних об'єктів на водне середовище;

- оцінити екологічний ризик від впливу комунального підприємства водоочищення на р. Сіверський Донець;

- обґрунтувати вибір індикаторних (сигнальних) показників екологічного стану поверхневих джерел водопостачання;

- побудувати математичну модель динаміки змін індикаторних (сигнальних) показників екологічного стану поверхневих джерел питного водопостачання залежно від сезонних умов і скидів стічних вод;

- визначити прогностичні оцінки екологічного стану поверхневих водних об'єктів на підставі застосування математичної моделі формування якості поверхневих вод;

- розробити рекомендації щодо системи екологічного моніторингу річкового басейну та з реконструкції очисних споруд промислово-побутових стоків.

*Об'єкт дослідження* – екологічна безпека поверхневих джерел водопостачання.

*Предмет дослідження* – процеси управління екологічною безпекою водних ресурсів.

**Методи дослідження.** Теоретичні аспекти дисертаційної роботи ґрунтуються на системному підході до вирішення проблеми оцінювання впливу забруднюючих речовин на поверхневі джерела водопостачання. Під час проведення експериментальних досліджень були використані такі методи: математичне моделювання, аналітичні та експериментальні методи визначення впливу параметрів, що формують екологічну безпеку поверхневих джерел водопостачання. При проведенні експериментальних досліджень застосовували стандартні аналітичні методи хімічного аналізу. Оброблення експериментальних даних здійснювали за допомогою комп'ютерної техніки, використовуючи вільний крос-платформовий пакет програм LibreOffice.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у наступному:

- уперше науково обґрунтовано вибір індикаторних (сигнальних) показників якості води на підставі співставлення результатів моделювання динаміки змін

концентрації розчиненого кисню та біохімічного споживання кисню у воді з даними лабораторних аналізів;

– уперше теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість довгострокового прогнозування екологічного стану водних об'єктів на основі спостереження за динамікою змін індикаторних (сигнальних) показників із застосуванням модифікованої двокомпонентної моделі Стритера – Фелпса з урахуванням коригуючих коефіцієнтів;

– удосконалено двокомпонентну математичну модель динаміки індикаторних (сигнальних) показників екологічного стану поверхневих вод (модель Стритера – Фелпса), доповнивши її коригуючими коефіцієнтами, що підвищило точність прогнозу екологічних умов водного об'єкту та оцінки впливу техногенно-небезпечних об'єктів на поверхневі води;

– удосконалено методичні підходи до формування мережі пунктів спостережень за екологічним станом поверхневих джерел водопостачання на басейновому рівні в штатному режимі та в умовах аварійних і несанкціонованих скидів, беручи до уваги вимоги Водної Рамкової Директиви;

– набули подальшого розвитку наукові уявлення щодо визначення екологічного ризику від впливу комунального підприємства водоочистки шляхом включення до його розрахунку показника комплексного індексу забрудненості води;

– набули подальшого розвитку наукові уявлення щодо комплексної оцінки впливу на екологічну безпеку поверхневих джерел питного водопостачання скиду стічних вод комунального підприємства шляхом урахування повторюваності перевищення нормативу вмісту забруднюючих речовин у водному об'єкті в зоні впливу скиду.

**Практичне значення одержаних результатів.** На основі модифікованої моделі Стритера – Фелпса з коригуючими коефіцієнтами створена можливість прогнозувати з високою точністю значення індикаторних (сигнальних) показників (розчинений кисень та біохімічне споживання кисню) і оцінювати екологічний стан поверхневих водних об'єктів, що дозволяє розраховувати коефіцієнт біохімічного окислення органічних речовин і здійснювати достатньо надійне прогнозування екологічного стану водотоків; розроблено рекомендації щодо оптимізації режиму спостережень за поверхневими джерелами водопостачання, що впроваджені у технічному завданні на реконструкцію очисних споруд Ізюмського комунального виробничого водно-каналізаційного підприємства (акт впровадження від 07.12.2016 р.).

Результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес кафедри екології Навчально-наукового інституту Екологічної безпеки НАУ МОН України під час підготовки і викладання лекційного матеріалу з дисциплін «Екологія», «Моделювання і прогнозування стану довкілля», «Моніторинг довкілля» (акт впровадження від 22.01.2018 р.), кафедри природоохоронних технологій, екології та безпеки життєдіяльності Харківського національного економічного університету ім. С. Кузнеця – для дисципліни «Екологія», курсу-тренінгу «Безпека життєдіяльності», курсу «Концепції сучасного природознавства» (акт впровадження від 22.05.2018 р.);

**Особистий внесок здобувача** полягає в аналізі стану проблеми, формуванні і доказі положень дисертації, обґрунтуванні вибору індикаторних показників екологічного стану поверхневих вод, побудові математичної моделі динаміки інтегрального показника екологічного стану вод, обробці результатів досліджень, узагальненні отриманих результатів, формулюванні висновків, підготовці матеріалів до публікації і розробці рекомендацій. Вибір теми дисертаційної роботи, постановка завдань дослідження, обговорення одержаних результатів були проведені разом із науковим керівником – к.мед.н, доцентом Б. Д. Халмурадовим. Особистий внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві полягає у: розробці математичної моделі, обґрунтування вибору індикаторних показників [1, 2]; обробці результатів досліджень та формуванні висновків [3–6].

**Апробація результатів дисертації.** Результати теоретичних та практичних досліджень за напрямком дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на наукових конференціях різних рівнів, а саме: Науково-технічній конференції «Інноваційні аерокосмічні технології в екологічному моніторингу» (м. Київ, 2018); IV Науково-практичній конференції молодих вчених «Сучасна гідроекологія: місце наукових досліджень у вирішенні актуальних проблем» (м. Київ, 2017); V Міжнародній науково-практичній конференції «Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти «Чиста вода 2017» (м. Київ, 2017); Шостому Всеукраїнському з'їзді екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology–2017) (м. Вінниця, 2017); Всеукраїнській науковій конференції «Другі Сумські наукові географічні читання» (м. Суми, 2017), XXII Міжнародній науково-практичній конференції «Фізичні та комп'ютерні технології» (м. Харків, 2016); Міжнародній науково-практичній конференції «Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика» (м. Київ, 2016); III Міжнародній науково-практичній конференції «Водокористування. Технології. Споруди. Менеджмент» (м. Київ, 2016); II Міжнародній науково-практичній конференції «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи» (м. Львів, 2015); XIII Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми екологічної безпеки» (м. Кременчук, 2015); Всеукраїнській конференції «Якість та безпека життя і діяльності людини: стандарти, орієнтири та перспективи» (м. Миколаїв, 2015); VII Міжнародній науково-методичній конференції «Безпека людини у сучасних умовах» (м. Харків, 2015); Науково-практичній конференції «Чорнобильська катастрофа та її вплив на екологічну ситуацію в Україні» (м. Харків, 2006); Науково-практичній конференції «Актуальні проблеми пожежної профілактики» (м. Харків, 2006); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми гуманізації та гармонізації управління» (м. Харків, 2000).

**Публікації.** За результатами дисертаційної роботи опубліковано 23 наукові праці: 8 статей у спеціалізованих виданнях, що входять до переліку МОН України, з них 3 – у виданнях, які рецензуються міжнародними наукометричними базами, та 15 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із переліку умовних скорочень, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел з 209 найменувань на 24 сторінках та 16 додатків на 43 сторінках. Повний

обсяг – 214 сторінок, з них основний текст – 147 сторінок. Робота містить 8 таблиць, 17 рисунків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми і наукової проблеми, сформульовані мета і завдання досліджень, а також відомості про практичне значення та впровадження результатів роботи.

У першому розділі проведено аналіз літературних джерел та сучасних науково-технічних досягнень з питань управління екологічною безпекою на рівні річкового басейну з урахуванням Водної Рамкової Директиви Європейського Союзу (ВРД ЄС), узагальнено світовий досвід підвищення екологічної безпеки водних об'єктів шляхом удосконалення організаційного механізму управління водними ресурсами для його запровадження в Україні. Проаналізовано методичні підходи до визначення екологічних ризиків в умовах впровадження басейнового підходу та існуючі моделі динаміки екологічного стану водотоків.

Управління екологічною безпекою річкового басейну та його реалізація через інтегроване управління водними ресурсами є усвідомленням міжнародним співтовариством проблем, пов'язаних із недостатньою кількістю та не задовільним екологічним станом прісної води. Відповідно до вимог ВРД ЄС в основі інтегрованого управління водними ресурсами є плани, в яких прописують порядок здійснення заходів з оптимізації структури використання водних ресурсів. Але на сьогодні відсутні методології та методики саме організаційно-екологічних заходів, спрямованих на підвищення екологічної безпеки поверхневих джерел водопостачання.

Одним з головних механізмів прийняття управлінських рішень на рівні річкового басейну є концепція оцінки ризиків. В умовах реалізації положень ВРД ЄС, пріоритетними мають бути такі методи оцінки ризику, що враховують як саму ймовірність небажаної події, так і визначення величини збитків, яких вона може завдати. Оцінка ризику для здоров'я населення від хімічних речовин, що забруднюють довкілля, при реалізації положень ВРД ЄС є малодоречною через відсутність безпосереднього впливу на об'єкт дослідження ризику. Натомість визначення ризиків від екологічно небезпечних об'єктів господарства на довкілля в цілому та водні ресурси, зокрема, є доцільним та актуальним.

Підходи до моніторингу поверхневих вод відповідно до вимог ВРД ЄС потребують суттєвої зміни як національного законодавства, так і методичних засад, що регламентують режими спостереження за водними об'єктами. Доцільним вважається за таких умов якнайширше використання індикаторних (сигнальних) показників забруднення водного об'єкту, що зменшить навантаження на лабораторії та дозволить оптимізувати мережу пунктів спостережень.

Однією з найважливіших характеристик екологічного стану води є концентрація розчиненого в ній кисню (РК) – необхідного елементу для забезпечення життєдіяльності водотоку або водойми, та пов'язаного з цим параметра – біохімічного споживання кисню (БСК<sub>5</sub>). В умовах відсутності належної лабораторної бази показники РК – БСК можна використовувати як індикаторні (сигнальні) показники забруднення водотоку, відповідно і моделі даного типу є інформативними, оскільки вони можуть враховувати широкий спектр легкоокислюваних органічних сполук, що знаходяться у воді. Простота

вимірювання біохімічної потреби в кисні та розчиненого кисню, наочність та доступність даних роблять цей метод одним за найкращих стандартних методів аналізу екологічного стану поверхневих вод. Виходячи з цього найбільш доцільним методом для моделювання динаміки індикаторних (сигнальних) показників екологічного стану поверхневих вод можна вважати двокомпонентну (РК – БСК) модель Стритера – Фелпса та її модифікації.

У другому розділі описані об'єкт та методи дослідження, методики проведення експериментів та оброблення одержаних результатів.

Для дослідження техногенного навантаження на поверхневі джерела водопостачання розглядалася ділянка р. Сіверський Донець в Ізюмському районі Харківською області, зокрема відбір проб води здійснювався у трьох пунктах спостережень: 1000 м вище, 500 м нижче та у місці скиду стічних вод Ізюмського комунального виробничого водопровідно-каналізаційного підприємства (ІКВ ВКП).

Методи проведення експериментальних досліджень ґрунтуються на моделюванні досліджуваних процесів. Для визначення розчиненого кисню, біохімічного споживання кисню, визначення розчинених фторид-, хлорид-, нітрит-, ортофосфат-, бромід-, нітрат- і сульфат-іонів використовували методики, затверджені відповідними державними стандартами.

У третьому розділі на підставі ретроспективного аналізу даних визначено вплив на екологічний стан р. Сіверський Донець Ізюмського комунально-виробничого водно-каналізаційного підприємства (ІКВ ВКП), здійснено дослідження комплексної оцінки впливу скиду стічних вод підприємства на річку, та проведено оцінювання екологічного ризику від забруднення водотоку.

Проведений аналіз показує, що вода р. Сіверський Донець відповідно до ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо екологічного стану поверхневих вод і правила вибирання» вище та нижче м. Ізюм за 5-ма показниками (жорсткість загальна, сульфати, азот нітратний, азот нітритний, фосфор фосфатний) відноситься до 4-го класу (посередня, обмежено придатна, небажана якість води). За даними спостережень за якістю води р. Сіверський Донець вище і нижче м. Ізюм, склад води поступово і постійно погіршується за цілою низкою показників. Так за показниками твердості та сульфатів (нижче місця скиду) спостерігається стала тенденція зростання за середньорічними значеннями (рис. 1 та рис. 2).

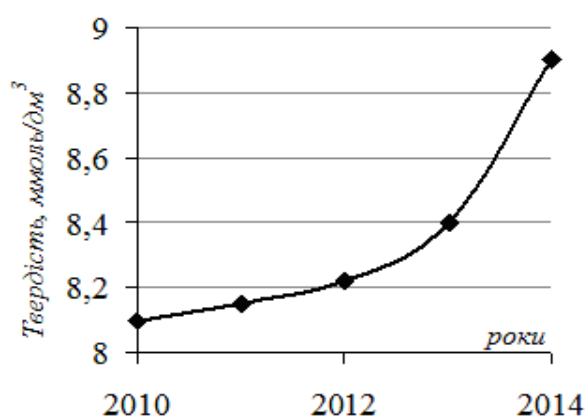


Рисунок 1 – Вміст солей твердості за середньорічними значеннями

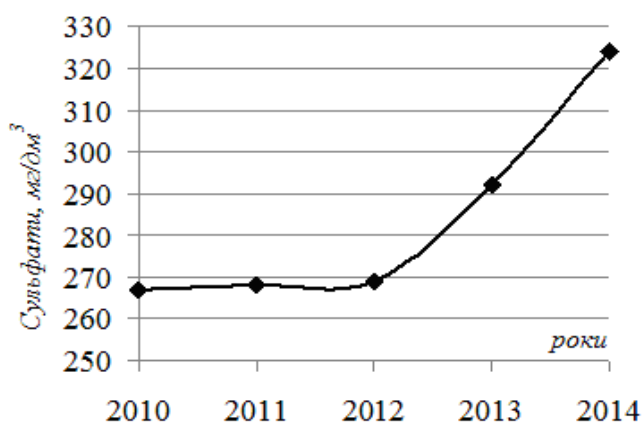


Рисунок 2 – Вміст сульфатів за середньорічними значеннями



Таке становище обумовлено, перш за все, загальним зростанням антропогенного навантаження на басейн р. Сіверський Донець, зносом обладнання станцій очищення промислово-побутових стоків, несанкціонованими скидами забруднюючих речовин, а крім того, незадовільним виконанням контролюючих та управляючих функцій басейновим управлінням водних ресурсів.

Спостерігається повторюваність сезонних коливань вмісту нітратів у річній воді після скиду стічної води з ІКВ ВКП та щорічне зростання концентрації.

Задля виявлення реального впливу скиду з очисних споруд м. Ізюм на якість води у р. Сіверський Донець досліджувалася різниця вмісту нітратів у річковій воді нижче скиду і вище скиду за середньорічними показниками (рис. 3).

До 2010 р. спостерігалось зменшення вмісту нітратів у річковій воді, що свідчило про ефективну роботу очисних споруд міста з очищення промислово-побутової стічної води. Починаючи з 2010 р. і по цей час спостерігається чітка тенденція постійного збільшення вмісту нітратів у річковій воді внаслідок скиду не достатньо очищеної води з очисних споруд міста, що суттєво погіршує якість води р. Сіверський Донець як джерела питного водопостачання. Усе це створює чималі труднощі для виробників питної води з води р. Сіверський Донець, оскільки на станціях водопідготовки питної води не передбачені технологічні стадії, що спрямовані на видалення нітратів. Аналогічна тенденція спостерігається щодо забруднення фосфатами річкової води стічними водами з ІКВ ВКП (рис. 4).

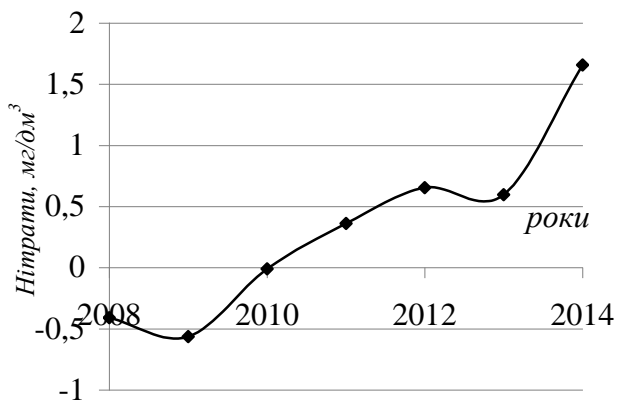


Рисунок 3 – Зміни різниці вмісту нітратів у річковій воді нижче місця скиду і вище скиду стічної води з ІКВ ВКП за середньорічними показниками за 2008–2014 роки

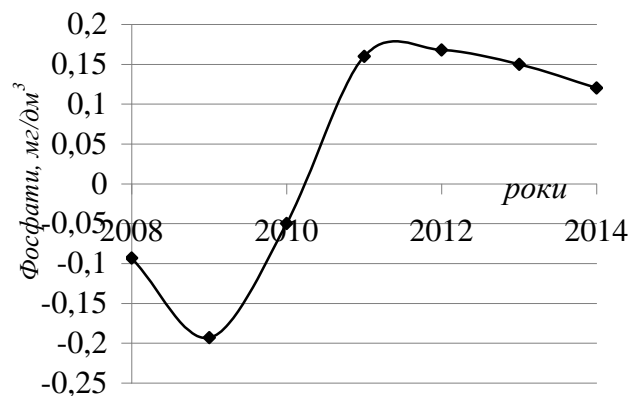


Рисунок 4 – Зміни різниці вмісту фосфатів у річковій воді нижче місця скиду і вище скиду стічної води з ІКВ ВКП за середньорічними показниками за 2008–2014 роки

Така тенденція безумовно свідчить про те, що очисні споруди ІКВ ВКП вичерпали практично в повному обсязі свої технологічні можливості і на фоні постійного зростання використання населенням різноманітних миючих засобів та іншої побутової хімії, не в змозі забезпечити потрібне очищення за показниками азоту та фосфору, що приводить до суттєвого погіршення екологічного стану р. Сіверський Донець.

Додатковим свідченням цього є зміни різниці біохімічного споживання кисню (БСК<sub>5</sub>) у річковій воді нижче скиду і вище скиду стічної води (рис. 5). Цей показник у стічній воді ІКВ ВКП суттєво змінився починаючи з 2010 року внаслідок вичерпання технологічних резервів очисних споруд (рис. 6).

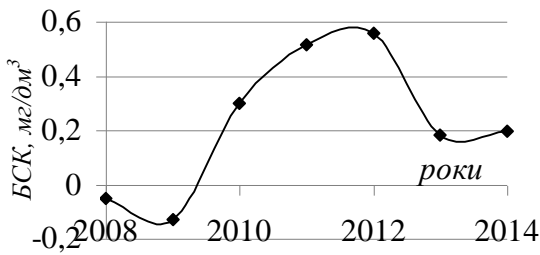


Рисунок 5 – Зміни різниці БСК<sub>5</sub> у річковій воді нижче місця скиду і вище скиду стічної води з ІКВ ВКП за середньорічними показниками за 2008–2014 роки

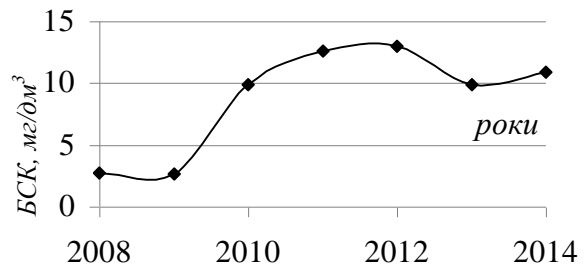


Рисунок 6 – БСК<sub>5</sub> у стічній воді з очисних споруд ІКВ ВКП за середньорічними показниками за 2008–2014 роки

За допомогою комбінаторного індексу забрудненості води було оцінено ступінь її забрудненості за комплексом забруднюючих речовин. Інформативність та репрезентативність індексу при наявності достатнього обсягу інформації висока.

Кожному показнику за розрахунковий період часу для обраного об'єкту дослідження визначено наступні характеристики:

1) повторюваність випадків забрудненості  $\alpha_{ij}$ , тобто частота виявлення концентрацій, що перевищують ГДК:

$$\alpha_{ij} = (n'_{ij} / n_{ij}) \cdot 100\%, \quad (1)$$

де  $n'_{ij}$  – кількість результатів хімічного аналізу за  $i$ -ю речовиною в  $j$ -му створі за період часу, що розглядається, в яких їх значення перевищують відповідні ГДК;  $n_{ij}$  – загальна кількість результатів хімічного аналізу за період часу, що розглядається, за  $i$ -ю речовиною в  $j$ -му створі.

2) Середнє значення кратності перевищення ГДК  $\bar{\beta}'_{ij}$ , розраховувалося тільки за результатами аналізу проб, де таке перевищення спостерігалось. Результати аналізу проб, у яких концентрація забруднюючої речовини була нижчою за ГДК, до розрахунку не включалися. Розрахунок проводився за формулою

$$\bar{\beta}'_{ij} = \sum_{f=1}^{n''_{ij}} \beta_{ifj} / n'_{ij}, \quad (2)$$

де  $\beta_{ifj} = C_{ifj} / \text{ГДК}_i$  – кратність перевищення ГДК за  $i$ -ю речовиною в  $f$ -му результаті хімічного аналізу для  $j$ -го створу;  $C_{ifj}$  – концентрація  $i$ -ї речовини в  $f$ -му результаті хімічного аналізу для  $j$ -го створу, мг/дм<sup>3</sup>.

3) Узагальнений оціночний бал  $S_{ij}$  за кожною речовиною розраховувався як добуток частинних оціночних балів за повторюваністю випадків забруднення та середньої кратності перевищення ГДК:

$$S_{ij} = S_{\alpha ij} \cdot S_{\beta ij}, \quad (3)$$

де  $S_{\alpha ij}$  – частинний оціночний бал за повторюваністю випадків забруднення  $i$ -ю речовиною в  $j$ -му створі за період часу, що розглядається;  $S_{\beta ij}$  – частинний оціночний бал за кратністю перевищення ГДК  $i$ -ю речовиною в  $j$ -му створі за період часу, що розглядається.

Далі визначався комбінаторний індекс забрудненості води за наступною формулою:

$$S_j = \sum_{i=1}^{N_i} S_{ij} \cdot w_i, \quad (4)$$

де  $S_j$  – комбінаторний індекс забрудненості води в  $j$ -м створі;  $N_j$  – кількість речовин, що враховуються в оцінці,  $w_i$  – вагові коефіцієнти, що враховують значимість  $i$ -ї речовини.

За даними багаторічних спостережень, проведеними впродовж 2010–2014 рр. досліджено сезонні зміни КІЗВ для трьох пунктів спостережень: місце скиду стічних вод ІКВ ВКП, 1000 м вище та 500 м нижче місця скиду. Як видно з наведених графіків (рис. 7), скид стічних вод ІКВ ВКП погіршує стан води р. Сіверський Донець, оскільки значення КІЗВ нижче місця скиду більші за значення КІЗВ вище місця скиду.

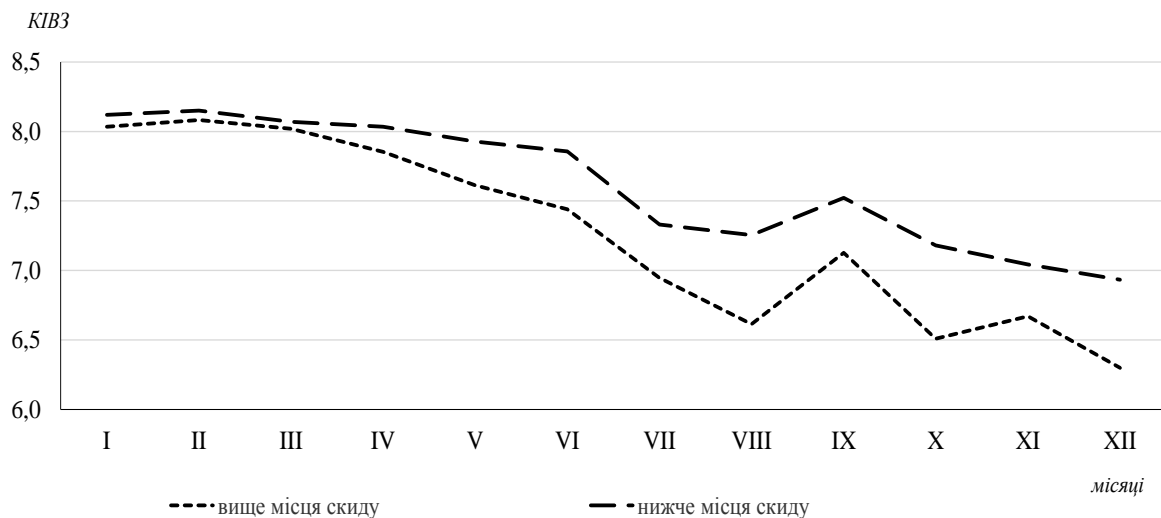


Рисунок 7 – Сезонна середньорічна динаміка КІЗВ вище та нижче місця скиду стічних вод ІКВ ВКП

Визначення величини техногенного ризику (ризiku впливу об'єкта чи планованої діяльності на компоненти навколишнього середовища) розраховувалися за формулою:

$$R = A \cdot e^{B \cdot e^D}, \quad (5)$$

де  $R$  – ризик для компонента навколишнього природного середовища, безрозмірний;  $A$ ,  $B$  – константи ( $A = 4,99 \cdot 10^{-6}$ ,  $B = -7,557$ );  $D$  – величина, яка розраховується за формулою:

$$D = -e^{I-1}, \quad (6)$$

де  $I$  – індекс забруднення компоненту навколишнього середовища, безрозмірний, визначається як  $0,2 \cdot \text{ІЗВ}$ .

Замість індексу ІЗВ (у зв'язку з втратою чинності нормативного документу для його розрахунку) пропонується використовувати індекс КІЗВ, що розрахований вище.

Як видно з графіків (рис. 8), вплив стічних вод ІКВ ВКП підвищує значення величин екологічного ризику для р. Сіверський Донець, зокрема для липня – вересня – з прийнятного до неприйнятного ( $>10^{-6}$ ).

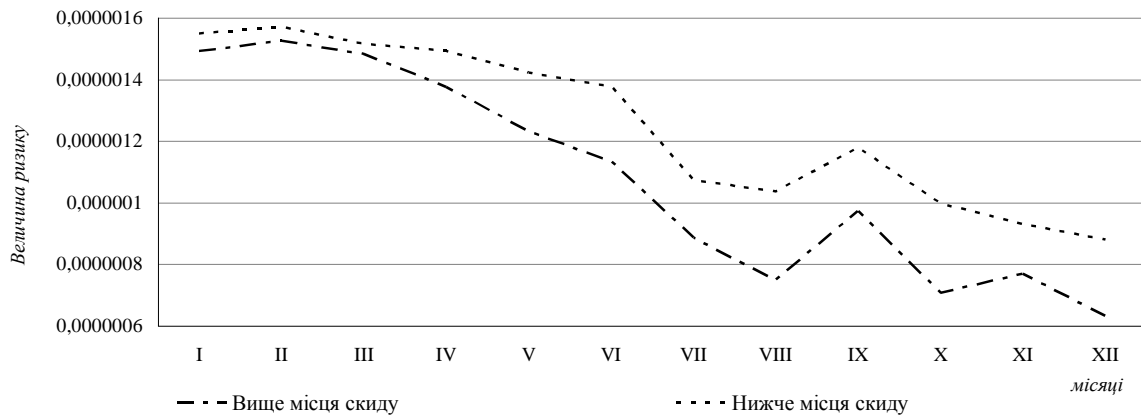


Рисунок 8 – Сезонна середньорічна динаміка екологічного ризику вище та нижче місця скиду стічних вод ІКВ ВКП

Як видно з рис. 6, 7, 8 – динаміка сезонних змін екологічного ризику, КІВЗ та БСК є ідентичною.

У четвертому розділі обґрунтовано вибір індикаторних (сигнальних) показника якості води поверхневих джерел питного водопостачання та побудована математична модель динаміки індикаторних (сигнальних) показників для поверхневих джерел питного водопостачання.

Критерієм, що характеризує сумарний вміст у воді органічних речовин, є показник БСК<sub>5</sub>. Тому є всі підстави обрати показники кисню у водному об'єкті, а саме БСК<sub>5</sub> та пов'язаний з ним показник розчиненого кисню як індикаторні (сигнальні) показники якості води. Для підтвердження цього допущення перевірено наявність кореляційного зв'язку між показниками КІВЗ та БСК<sub>5</sub>. Проведено порівняння за трьома пунктами спостережень – місце скиду стічних вод ІКВ ВКП, за вище та нижче місця скиду.

Коефіцієнт кореляції між значеннями сезонної динаміки середньорічних показників БСК<sub>5</sub> та КІВЗ для пунктів спостережень у місці скиду та вище місця скиду стічних вод ІКВ ВКП складає відповідно 0,57 та 0,98.

На графіку (рис. 9) відображено сезонну динаміку середньорічних показників БСК<sub>5</sub> та КІВЗ для пунктів спостережень нижче місця скиду стічних вод ІКВ ВКП. Коефіцієнт кореляції між вказаними значеннями складає 0,94.

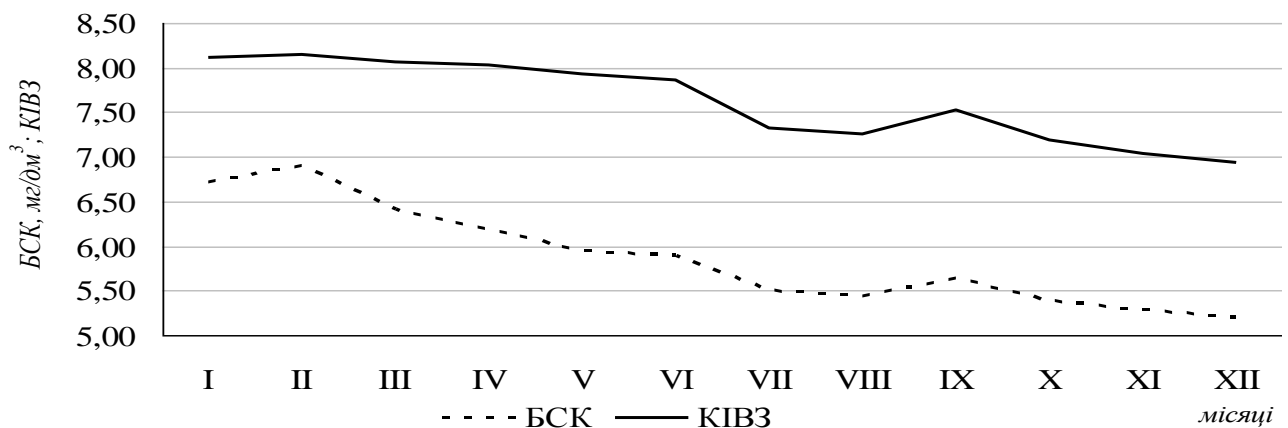


Рисунок 9 – Сезонна динаміка середньорічних показників БСК<sub>5</sub> та КІВЗ нижче місця скиду стічних вод ІКВ ВКП

З аналізу сезонної динаміки показників БСК<sub>5</sub> та КІВЗ, зв'язку цих величин між собою, впливає, що вирішальне значення на формування КІВЗ нижче від джерела забруднення (скид ІВК ВКП) відіграє саме показник БСК<sub>5</sub>, що і підтверджується коефіцієнтами кореляції. Безпосередньо у місці скиду стічних вод, за умови перевищення значень ГДК декількома забруднюючими речовинами формування КІВЗ відбувається за їх рахунок у різній мірі.

Для задач, щодо яких обґрунтовується індикаторні (сигнальні) показники екологічного стану поверхневих вод, більш важливим є виявлення наслідків забруднення не безпосередньо в місці забруднення, а на деякій відстані від нього і через деякий час. Тому використання саме БСК<sub>5</sub>, як показника, що характеризує процес окислення уже наявних забруднювачів у воді, є найбільш доцільним для задач оперативного моніторингу водних об'єктів.

У двокомпонентній моделі Стритера – Фелпса розглядається система, що складається з води та розчинених у ній кисню та показника біохімічного споживання кисню. У цій моделі концентрація розчиненого кисню та органічних відходів взаємопов'язані. Розкладання органічних відходів відбувається під впливом бактерій, що викликають біохімічну реакцію з використанням розчиненого у воді кисню. Модель зводиться до системи звичайних диференціальних рівнянь, розв'язок якої має вигляд:

$$\begin{cases} x_1 = x_{1,0}e^{-k_1z/u} + C_1, \\ x_2 = x_{2,0}e^{-k_2z/u} + C_s(1 - e^{-k_2z/u}) + \frac{k_1}{k_2 - k_1} x_{1,0}(e^{-k_2z/u} - e^{-k_1z/u}) + C_2, \end{cases} \quad (7)$$

де  $x_{1,0}$ ,  $x_{2,0}$  — концентрації відповідно, БСК<sub>5</sub> і РК у початковій точці, мг/дм<sup>3</sup>;  $C_s$  — концентрація насичення РК, мг/дм<sup>3</sup>;  $k_1$  — константа швидкості розпаду БСК<sub>5</sub> (коефіцієнт мінералізації), 1/доба;  $k_2$  — константа швидкості реаерації для РК, 1/добу;  $z$  — відстань від джерела скиду вздовж русла річки, м;  $u$  — швидкість течії, м/добу.  $C_1$ ,  $C_2$  — коригувальні коефіцієнти, введені для підвищення точності прогнозу.

$$C_1 = f(GM), \quad (8)$$

$$C_2 = f(COD/BOD), \quad (9)$$

де  $f(GM)$  — функція загального солемісту;  $f(COD/BOD)$  — функція, що визначає відношення хімічного споживання кисню (ХСК) до БСК<sub>5</sub>.

Видно, вдалині від точки скиду  $\lim_{t \rightarrow \infty} x_1 = 0$ , тобто вода самоочищується від активних домішок, а  $\lim_{t \rightarrow \infty} x_2 = C_s$ , тобто вода насичується киснем.

Множники  $x_{1,0}$  та  $x_{2,0}$  в рівняннях (7) визначаються експериментально, коефіцієнти  $k_1$  та  $k_2$  можуть бути знайдені експериментально за формулами

$$k_1 = t^{-1} \cdot \ln \frac{x_{1,0}}{x_1}. \quad (10)$$

$$k_2 = \frac{x_{1,0} \cdot k_1 \cdot e^{-k_1 t}}{x_2}. \quad (11)$$

Аналіз багаторічних результатів спостереження за екологічним станом р. Сіверський Донець дозволив встановити, що коригуючий коефіцієнт  $C_1$

залежить від загального солевмісту у воді за законом, вираженим рівнянням:

$$C_1 = -0,0002c_1^2 + 0,2685c_1 - 79,681, \quad (12)$$

де  $C_1$  –  $\Delta\text{БСК}_5$  (різниця  $\text{БСК}_5$  вище та нижче місця скиду стічних вод),  $c_1$  – загальний солевміст.

Графік функції (12) наведено на рис. 10. З графіку видно, що при збільшенні загального солевмісту величина  $\Delta\text{БСК}_5$  також зростає.

Величина достовірності апроксимації становить  $R^2 = 0,76$ .

Аналіз багаторічних результатів спостереження за екологічним станом р. Сіверський Донець дозволив встановити, що коригуючий коефіцієнт  $C_2$  залежить від  $\text{ХСК}/\text{БСК}_5$  у вигляді

$$C_2 = -0,5542c_2^2 - 0,6164c_2 + 2,8915, \quad (13)$$

де  $C_2$  –  $\Delta\text{РК}$  (різниця  $\text{РК}$  вище та нижче місця скиду стічних вод),  $c_2$  – відношення  $\text{ХСК}/\text{БСК}_5$ .

Графік функції (13) наведено на рис. 11. З графіку видно, що при збільшенні величини відношення  $\text{ХСК}/\text{БСК}_5$  зменшується величина  $\Delta\text{РК}$ .

Величина достовірності апроксимації становить  $R^2 = 0,91$ .

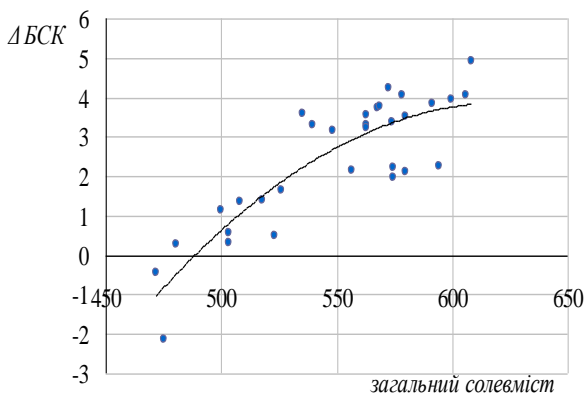


Рисунок 10 – Взаємозалежність між значеннями різниць фактичних та змодельованих значень  $\text{БСК}_5$  ( $\Delta\text{БСК}_5$ ) і відповідними значеннями загального солевмісту ( $\text{мг}/\text{дм}^3$ )

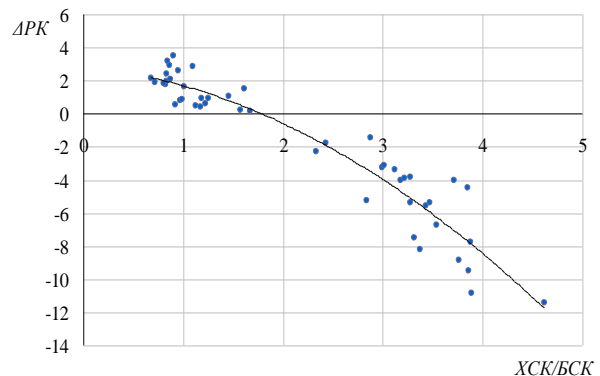


Рисунок 11 – Взаємозалежність між значеннями різниць фактичних та змодельованих значень розчиненого кисню ( $\Delta\text{РК}$ ) і відповідними значеннями відношення  $\text{ХСК}/\text{БСК}_5$  ( $\text{мг}/\text{дм}^3$ )

Введення коригуючих коефіцієнтів  $C_1$  і  $C_2$  до запропонованої математичної моделі дозволить суттєво підвищити надійність прогнозу екологічного стану води поверхневого джерела водопостачання, що гарантує високу адекватність оперативних рішень управління водними ресурсами.

Перевірка адекватності розрахованої моделі динаміки  $\text{БСК}_5$  та розчиненого кисню показані на відповідних графіках (рис. 12 та рис. 13), де зображені: криві середньорічних значень показників  $\text{БСК}_5$  та дефіциту розчиненого кисню за 2014 рік; значення, змодельовані за класичною моделлю Стритера – Фелпса; значення, отримані з використанням у моделі коригуючих коефіцієнтів.

Коефіцієнт кореляції між модельним значенням  $\text{БСК}_5$  та фактичним становить 0,74 (рис. 12). Між фактичним значенням та модельним з використанням у моделі коригуючого коефіцієнту – 0,85, що можна вважати

прийнятним з огляду на результати інших дослідників, які вказують на те, що на всі моделі, запропоновані для опису взаємодії РК та БСК<sub>5</sub> впливає факт неточності задання усіх параметрів цієї моделі, отриманих із експерименту (величина похибки може досягати 40 %).

Результат моделювання значень розчиненого кисню (рис. 13) показує високий коефіцієнт кореляції – 0,88; за класичною моделлю – 0,70.

Для обчислень використовувалися вже усереднені за місяць значення хімічних аналізів.

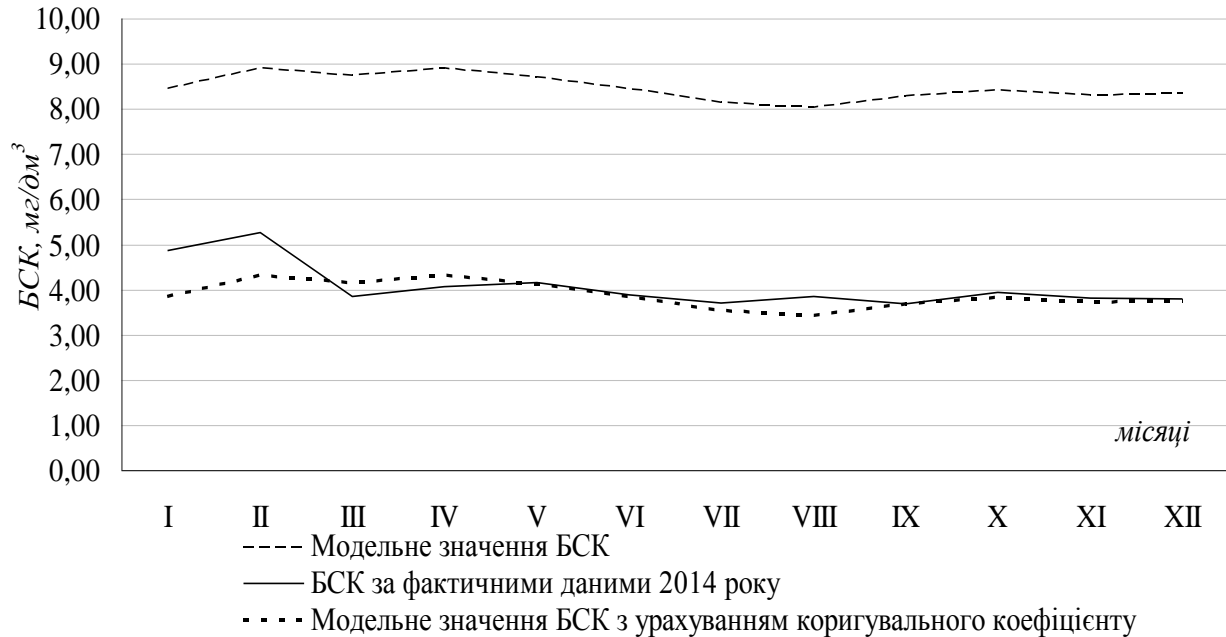


Рисунок 12 – Динаміка змодельованих та фактичних (2014 р.) значень БСК<sub>5</sub> нижче місця скиду стічних вод ІКВ ВКП

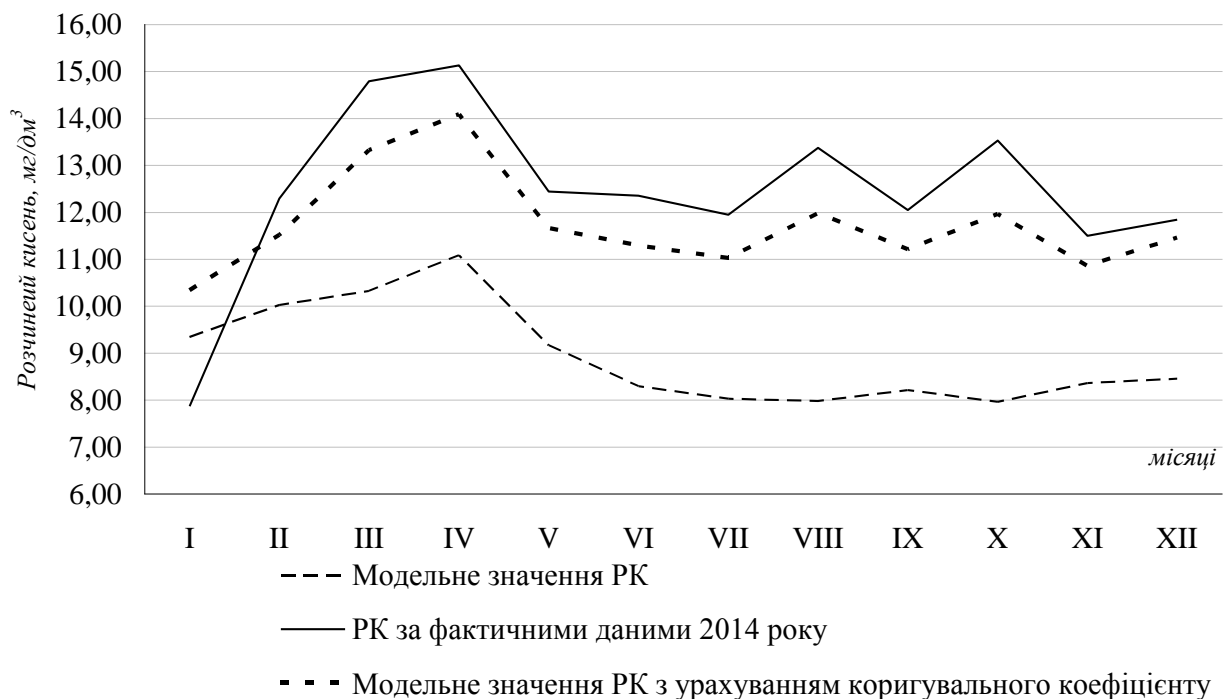


Рисунок 13 – Динаміка змодельованих та фактичних (2014 р.) значень розчиненого кисню нижче місця скиду стічних вод ІКВ ВКП

Перевагою використання даної моделі є можливість оперативної обробки даних моніторингу поверхневих джерел водопостачання. Використана модель дає змогу проводити розрахунки без застосування спеціальних комп'ютерних програм.

**У п'ятому розділі** наведені аналіз ефективності діючої системи моніторингу поверхневих вод, системи екологічного моніторингу поверхневих джерел водопостачання басейну р. Сіверський Донець, формування рівнів аналітичного контролю в системі екологічного моніторингу та рекомендації з розробки схеми мережі спостережень для підвищення ефективності управління водними ресурсами річкового басейну.

Первинні дані про фізико-хімічні і біологічні параметри стану водних ресурсів, одержані у ході існуючого моніторингу, часто залишаються без належного використання внаслідок відставання методичного забезпечення щодо їх обробки, узагальнення та аналізу. Основними недоліками існуючої системи моніторингу поверхневих вод є відсутність взаємодії та обміну інформацією між службами, що здійснюють контроль над використанням і охороною водних ресурсів та неможливість оперативної реєстрації аварійних забруднень водних об'єктів через відсутність систем безперервного контролю якісних характеристик вод.

Для раціонального використання дорогого лабораторного обладнання на басейновому рівні пропонується поділ завдань аналітичного контролю на чотири рівні.

Перший рівень: стаціонарні пости аварійного контролю, розташовувані в безпосередній близькості від випусків стічних вод. Пости оснащуються автономно працюючим устаткуванням, що роблять аналіз води безперервно, або із заданою періодичністю за 2 – 6 параметрами; пересувні лабораторії на базі автомобільного транспорту, човнів і авіаційної техніки, оснащені обладнанням для відбору проб і аналізу води в польових умовах за 5 – 15 показниками.

Другий рівень: стаціонарні лабораторії, що дозволяють робити комплексний аналіз води за 15 – 35 найбільш важливими показниками. Лабораторії створюються па базі водоочисних підприємств і (за необхідністю) підрозділів служб екологічного контролю.

Третій рівень: центральні лабораторії аналітичного контролю, що роблять повний аналіз проб води. Число аналізованих показників визначається санітарними службами та службами екологічного контролю. Основними завданнями лабораторії є: визначення широкого спектра фізико-хімічних параметрів якості середовищ із високою точністю, ідентифікація забруднень, перевірка якості проведення аналізів поверхневих вод і стоків іншими лабораторіями, у тому числі лабораторіями на промислових підприємствах.

Четвертий рівень: центри приймання й обробки інформації дистанційного зондування. У завдання функціонування центрів входять одержання даних дистанційних вимірів й зйомок, проведення дешифрування, надання інформації користувачам у необхідній формі.

Відповідно до діючої в Україні нормативної бази, пункти спостережень за забрудненням поверхневих вод поділяються на чотири категорії в залежності від певних умов їх розташування, населення у містах, розташованих на контрольованих річках, особливостей ведення рибного господарства, наявності



скиду зворотних вод з десятикратним перевищенням ГДК за одним чи декількома показниками.

ВРД передбачає, що обов'язковий контроль має здійснюватись у пунктах, що відповідають таким критеріям: величина водного стоку є значною в межах району річкового басейну включно із точками на великих річках із площею водозбору більше ніж 2500 км<sup>2</sup>; об'єм водного стоку річки або водної маси озера є значним у межах району річкового басейну; місця перетину державного кордону; гирлові ділянки річок та при транскордонному перетині для визначання хімічного стоку поліутантів та інших хімічних речовин.

Крім того, важливим фактором, що впливає на якість та запаси води у водному об'єкті є обсяги забору та скидів. Пропонується при визначенні категорії пункту спостереження враховувати обсяги води, що споживаються та скидаються водо споживачами, для чого необхідно визначити число водокористувачів, розташованих на досліджуваному водотоці.

Після визначення числа водокористувачів та джерел забруднень поверхневих вод їх групують за відрізками (ділянками водотоків, що лежать між вузлами розрахункової гідрографічної схеми) водотоків, до яких вони прив'язані. Вихідна група водокористувачів-забруднювачів на кожному відрізку замінюється забруднювачем-еквівалентом (з.е.).

Фізичний зміст забруднювача-еквівалента полягає в тому, що оцінка його впливу на екологічний стан річки буде вказувати на можливість впливу всієї групи забруднювачів, розташованих на цьому відрізку, та оцінити їх вплив на екологічний стан річки.

Розгляд властивостей з.е. показує, що його характеристики споживання води і скидання стічних вод для лінійно розташованих водокористувачів-забруднювачів визначаються наступними співвідношеннями:

$$W_{з.е.} = \max_{1 \leq k \leq n} \left( \sum_{i=0}^{k-1} W_i'' + W_k \right) = \max_{1 \leq k \leq n} \left( W_{з.е.}'' + W_k' - \sum_{i=k+1}^n W_i \right), \quad (14)$$

$$W_{з.е.}' = \max_{1 \leq k \leq n} \left( W_k' - \sum_{i=k+1}^n W_i'' \right), \quad (15)$$

$$W_{з.е.}'' = \sum_{i=k+1}^n W_i'', \quad (16)$$

де  $n$  — число розглянутих водокористувачів-забруднювачів;  $W_{з.е.}$  — водоспоживання з.е.;  $W_{з.е.}'$  — скид з.е.;  $W_{з.е.}''$  — безповоротні втрати з.е.

Таким чином визначаються найбільш значимі водокористувачі-забруднювачі щодо впливу на водний об'єкт.

Найважливішим моментом при розробці системи моніторингу є формування мережі пунктів спостережень. Діючими нормативними документами передбачено, що один створ на водотоках встановлюють (за відсутністю організованого скиду зворотних вод) у гирлах забруднених приток, на незабруднених ділянках водотоків, на передгребельних ділянках річок, на замикаючих ділянках річок, в місцях перетину державного кордону. За наявності організованого скиду зворотних вод на водотоках встановлюють два створи або більше. Один із них

розташовують вище джерела забруднення (поза впливом зворотних вод, що контролюються), інші – нижче джерела (або групи джерел) забруднення. Склад води у пробі, відібраній у створі вище джерела забруднення, характеризує фонове значення показників складу і властивостей води водотоку.

Водною рамковою директивою передбачено, що програма моніторингу має надавати можливість порівнювати екологічний стан із референтними умовами, а не тільки відображати ступінь впливу окремих речовин, тому вбачається доцільним у подальшому, при впровадженні положень ВРД в практику моніторингу вод, при побудові мережі пунктів спостережень обмежитися тільки одним створом нижче джерела забруднення, оскільки для кожної водойми та водотоку існуватимуть значення показників вмісту хімічних речовин та інших характеристик води за референтних (фонових) умов.

Діючим природоохоронним законодавством передбачено здійснення кризового моніторингу водних об'єктів. Здійснення кризового моніторингу водних об'єктів регламентувалося скасованим нормативним документом «Єдине міжвідомче керівництво по організації та здійсненню державного моніторингу вод» та являє собою систематичні і додаткові спостереження у зонах впливу можливих аварій та стихійного лиха, а у разі виникнення надзвичайної екологічної ситуації – також організацію тимчасової мережі спостережень.

Водною рамковою директивою не передбачено поняття «кризового моніторингу», натомість в ній використовуються поняття «дослідницький моніторинг», який запроваджують, коли причини перевищень невідомі, також у випадку виникнення аварійного забруднення. Спостереження доцільно здійснювати з використанням автоматизованих системи контролю якості поверхневих вод згідно з ДСТУ 3831-98 «Охорона навколишнього природного середовища. Автоматизовані системи контролю якості природних вод. Типи та основні вимоги». В умовах гармонізації діючої нормативної бази відповідно вимог ВРД вбачається доцільним та актуальним питання вдосконалення методичного забезпечення спостережень за водними об'єктами в умовах аварійних та несанкціонованих скидів забруднень, особливо в частині організації оповіщення та проведення спостережень за екологічним станом водотоку.

У практичному значенні раннє виявлення несанкціонованого забруднення у водотоці можливе шляхом виявлення різниці у результатах вимірювань за створами, розташованими на протилежних берегах водотоку до проходження зони вирівнювання концентрацій.

Аналіз існуючих біологічних методів видалення біогенних елементів з господарсько-побутових стічних вод дозволяє зробити висновок, що вони не завжди можуть бути застосовані у технологічному процесі очистки стічних вод. Це зумовлено тим, що ефективність очистки залежить від багатьох факторів, таких як температура, рН, доза мулу, наявність легко окислюваної органіки та ін., які не завжди враховані під час експлуатації очисних споруд.

Переваги біологічного видалення азоту полягають у тому, що у результаті процесу нітрифікації може бути досягнутий необхідний ступінь видалення аміаку (якщо виникає необхідність, потім проводять денітрифікацію). Крім того, таку систему можна пристосувати у якості доповнення до існуючої системи біологічної очистки.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертації здійснено вирішення актуального науково-практичного завдання підвищення екологічної безпеки поверхневих джерел водопостачання шляхом розробки методичного забезпечення ефективної реалізації оптимальних форм управління екологічною безпекою на рівні річкового басейну.

Найважливіші наукові та практичні результати, одержані в дисертації:

1. Структуровано сучасні погляди і теоретико-методологічні засади управління екологічною безпекою поверхневих джерел водопостачання з урахуванням Водної Рамкової Директиви Європейського Союзу та наявний світовий досвід розроблення екологічного моніторингу та обґрунтування оцінок екологічного ризику.

2. Проведено дослідження впливу комунального підприємства ІКВ ВКП на стан р. Сіверський Донець. Встановлено, що починаючи з 2010 року і по цей час спостерігається чітка тенденція збільшення вмісту нітратів та фосфатів у воді р. Сіверський Донець внаслідок скиду недоочищеної води з очисних споруд цього підприємства, що впливає на стан питної води, виготовленої з води р. Сіверський Донець.

3. Вдосконалено методику оцінки техногенного ризику з використанням комплексного індексу забруднення вод. Встановлено, що скид стічних вод ІКВ ВКП збільшує значення величини ризику від «прийнятного» до «не прийнятного» ( $>10^{-6}$ ). Недолік цього підходу полягає у прямій залежності значень величини ризику від значень комплексного індексу, що підтверджує необхідність вибору індикаторних (сигнальних) показників забруднення водних об'єктів, які б характеризували стан води в цілому, не залежали від великої кількості показників та не вимагали складних багатоступінчатих розрахунків задля забезпечення оперативного управління водними ресурсами.

4. Дослідженням комплексної оцінки впливу техногенного забруднення на водне середовище встановлено та науково обґрунтовано вибір та використання індикаторних (сигнальних) показників екологічного стану поверхневих вод для прогнозування впливу забруднення на водне середовище. Доведено на підставі співставлення результатів моделювання динаміки змін біохімічного споживання кисню та концентрації розчиненого кисню у воді з показниками комплексної оцінки (коефіцієнт кореляції між вказаними показниками складає 0,94), що концентрація розчиненого кисню та біохімічного споживання кисню у водному об'єкті з достатньо високою достовірністю можуть бути застосовані як індикаторні показники екологічного стану водного середовища, які можна використовувати в якості первісної (сигнальної) оцінки в системі екологічного моніторингу вод.

5. Удосконалено математичну модель динаміки індикаторних (сигнальних) показників екологічного стану поверхневих вод (двокомпонентна модель Стритера – Фелпса) шляхом доповнення коригуючими коефіцієнтами, що дозволяє з високою точністю прогнозувати екологічні умови водного об'єкту та оцінювати вплив техногенно-небезпечних об'єктів на поверхневі води задля потреб екологічного моніторингу та оптимального управління екологічною безпекою басейну річки.

6. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість довгострокового прогнозування екологічного стану водних об'єктів на основі спостереження за динамікою змін показників БСК, розчиненого кисню, із застосуванням модифікованої двокомпонентної моделі Стритера – Фелпса з урахуванням коригуючих коефіцієнтів.

7. Удосконалено методичні підходи до формування системи екологічного моніторингу басейну, в тому числі за умов наявності несанкціонованого та аварійного скидів стічних вод техногенно-небезпечних об'єктів з метою оптимального управління екологічною безпекою басейну. Розроблено рекомендації з реконструкції очисних споруд побутово-промислових стоків м. Ізюм.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Наукові праці, в яких опубліковані наукові результати дисертації*

1. Безсонний В. Л. План створення системи екологічного моніторингу в зоні антропогенних впливів від об'єктів підвищеної небезпеки. *Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України*. Харків: УЦЗУ, 2006. Вип. 4. С. 75–84.

2. Бессонный В.Л. Использование метода информационной избыточности для обеспечения достоверности результатов мониторинга чрезвычайных ситуаций. *Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України*. Харків: УЦЗУ, 2008. Вип. 8. С. 32–38.

3. Третьяков О.В., Шевченко Т.О., Безсонний В.Л. Підвищення рівня екологічної безпеки питного водопостачання Харківського регіону. *Східно-європейський журнал передових технологій. Том 5 «Екологія»*. 2015. № 10(77). С. 40–49.

*Здобувач проаналізував джерела забруднення поверхневих вод, одержав висновки щодо причин погіршення екологічного стану поверхневих джерел водопостачання.*

4. Третьяков О.В., Безсонний В.Л. Оцінка впливу стічних вод на екологічний стан річки Сіверський Донець. *Вісник ХНАДУ*. 2015. Вип. 71. С. 103–108.

*Здобувач проаналізував вплив не повністю очищених промислово-побутових вод на екологічний стан р. С. Донець в межах Ізюмського району Харківської області.*

5. Третьяков О.В., Безсонний В.Л. Основні методи математичного моделювання для методичного забезпечення басейнового підходу в управлінні якістю водних ресурсів. *Системи обробки інформації*. 2016. № 8(145). С. 194–199. *Здобувач проаналізував основні методи моделювання поширення забруднень у поверхневих джерелах водопостачання. Обґрунтовано доцільність використання в управлінні якістю водних ресурсів модель РК-БПК.*

6. Безсонний В.Л., Третьяков О.В., Кравчук А.М., Стаценко Ю.Ф. Прогнозування кисневого режиму річки Сіверський Донець методами математичного моделювання. *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування: зб. наук. праць. Серія: Безпека життєдіяльності*. ДВНЗ «Піднепр. держ. академія буд-ва і архітектури»; під загальною редакцією В. І. Большакова. Дніпро, 2016. Вип. 93. С. 113–119.

*Здобувач побудував математичну модель для прогнозування кисневого режиму р. Сів. Донець на підставі класичної моделі Стритера-Фелпса.*

7. Безсонний В. Л., Третяков О.В. Аналіз світового та вітчизняного досвіду впровадження інтегрованого управління водними ресурсами. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Науково-технічний збірник*. К: КНУБА, 2016. Вип. 27. С. 15–24.

*Здобувач структурував сучасні погляди і теоретико-методологічних засади управління екологічною безпекою поверхневих джерел водопостачання.*

8. Bezsonnyi V., Tretyakov O., Khalmuradov B., Ponomarenko R. Examining the dynamics and modeling of oxygen regime of Chervonooskil water reservoir (Дослідження динаміки та моделювання кисневого режиму Червонооскільського водосховища). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. № 5/10 (89). Р. 32–38.

*Здобувач розробив математичну модель, обґрунтував вибір інтегрального показника екологічного стану поверхневих вод.*

### ***Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації***

9. Божков А.І., Титар В.П., Гернет Н.Д., Безсонний В.Л. Система очищення і автоматизованого контролю екологічного стану малих річок і озер північного сходу України. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. «Сучасні проблеми гуманізації та гармонізації управління»*. Харків, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Українська інженерно-педагогічна академія, 2000. С. 190.

10. Безсонний В.Л., Буц Ю.В., Дем'яненко І.І. Прогнозування та страхування ризиків, породжуваних потенційно небезпечними об'єктами. *Матеріали науково-практичної конференції «Чорнобильська катастрофа та її вплив на екологічну ситуацію в Україні»*. Харків: АЦЗУ, 2006. С.120.

11. Безсонний В.Л., Андронов В.А., Буц Ю.В. Принципи проектування системи екологічного моніторингу. *Матеріали науково-практичної конференції «Актуальні проблеми пожежної профілактики»*. Харків: АЦЗУ, 2006. С. 12–14.

12. Третяков О.В., Безсонний В.Л. Оцінка екологічного стану Червонооскільського водосховища та річки Оскіл. *Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека як основа сталого розвитку. Європейський досвід і перспективи»*. Львів: ЛДУ БЖД, 2015. С. 168–170.

13. Третяков О.В., Безсонний В.Л. Оцінка екологічного стану річки Сіверський Донець (в межах Ізюмського району Харківської області). *Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми екологічної безпеки»*. Кременчук: КрНУ, 2015. С. 82.

14. Безсонний В.Л., Третяков О.В. Необхідність методичного забезпечення басейнового підходу в управлінні якістю водних ресурсів. *Збірка тез доповідей всеукраїнської конференції «Якість та безпека життя і діяльності людини: стандарти, орієнтири та перспективи»*. Миколаїв. 2015. С. 44–45.

15. Третяков О.В., Шевченко Т.О., Безсонний В.Л. Підвищення ефективності очищення побутово-промислових стоків. *Матеріали VII Міжнародної науково-методичної конференції «Безпека людини у сучасних умовах»*, Харків, 2015. С. 35–36.

16. Третяков О. В., Безсонний В. Л. Підвищення рівня екологічної безпеки поверхневих джерел питного водопостачання Харківського регіону. *Збірник*

наукових праць XV міжнародної науково-практичної конференції «Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика» м. Київ, 19-20 травня 2016 р., К.: «Темпо», 2016. С. 268–271.

17. Безсонний В.Л., Третьяков О.В. Вдосконалення технології водопідготовки питної води з поверхневих джерел водопостачання. *Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції «Фізичні та комп'ютерні технології» 7–9 грудня 2016. м. Харків. Д.: ЛІРА. 2016. С. 373–376.*

18. Безсонний В.Л., Третьяков О.В. Аналіз світового та вітчизняного досвіду впровадження інтегрованого управління водними ресурсами. *Робоча програма та тези доповідей третьої міжнародної конференції «Водокористування: технології, споруди, менеджмент».* Київ: КНУБА. 2016. С. 10.

19. Безсонний В.Л., Пономаренко Р.В. Моніторинг поверхневих джерел питного водопостачання у випадку аварійної ситуації. *Збірник матеріалів IV науково-практичної конференції для молодих вчених, присвяченої 100-річчю Національної академії наук України «Сучасна гідроекологія: місце наукових досліджень у вирішенні актуальних проблем».* Київ, 2017. С. 11–12.

20. Безсонний В. Л. Вплив стічних вод на поверхневі джерела водопостачання (на прикладі р. Сіверський Донець). *Proceedings of the V International Scientific and Technical Conference «Pure water. Fundamental, applied and industrial aspects».* 26-27 October 2017, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». Kyiv, 2017. P. 59–61.

21. Безсонний В.Л., Третьяков О. В., Халмурадов Б.Д. Система моніторингу поверхневих вод в умовах впровадження басейнового підходу до управління водними ресурсами. *Збірник матеріалів Всеукраїнської наукової конференції «Другі Сумські наукові географічні читання» (Суми, 10-12 листопада 2017 р.) [Електронний ресурс].* СумДПУ імені А.С. Макаренка, Сумський відділ Українського географічного товариства; Елект. текст. дані. Суми. 2017. С. 117 – 120. 1 електр. опт. диск (CD-R).

22. Безсонний В. Л., Третьяков О. В., Халмурадов Б.Д. Моделювання кисневого режиму поверхневих джерел питного водопостачання. *Збірник наукових праць «Шостий Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology-2017)».* Вінниця, ВНТУ, 2017. С. 88.

23. Третьяков О. В., Безсонний В. Л., Халмурадов Б. Д. Науково обґрунтовані рекомендації з реалізації басейнового принципу управління водними ресурсами поверхневих джерел питного водопостачання. *Матеріали науково-технічної конференції «Інноваційні аерокосмічні технології в екологічному моніторингу».* Київ, Державна екологічна академії післядипломної освіти та управління, 2018. С. 26.

## АНОТАЦІЯ

**Безсонний В. Л. Підвищення екологічної безпеки поверхневих джерел водопостачання шляхом удосконалення басейнового принципу управління водними ресурсами.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 21.06.01 «Екологічна безпека». Сумський державний університет, Суми, 2018.

У дисертації вирішене актуальне науково-практичне завдання підвищення рівня екологічної безпеки поверхневих джерел водопостачання. Розроблено методичне забезпечення ефективної реалізації оптимальних форм управління екологічною безпекою на рівні річкового басейну.

Найбільш доцільним методом для дослідження динаміки індикаторних (сигнальних) показників екологічного стану поверхневих вод можна вважати двокомпонентну модель Стритера – Фелпса та її модифікації (розчинений кисень – біохімічне споживання кисню). Простота вимірювань показників обумовлюють перевагу цього методу як одного з найкращих стандартних методів аналізу екологічного стану поверхневих вод.

Розраховані значення показника комплексного індексу забруднення води свідчать про постійний та стійкий вплив стічних вод Ізюмського комунально-виробничого водно-каналізаційного підприємства на екологічний стан річки Сіверський Донець.

Науково обґрунтовано вибір та використання індикаторних (сигнальних) показника екологічного стану поверхневих вод для прогнозування забруднення водного середовища. Доведено, що концентрація розчиненого кисню та біохімічного споживання кисню у водному об'єкті з достатньо високою достовірністю може бути застосована як індикаторні (сигнальні) показники екологічного стану водного середовища.

Удосконалено математичну модель динаміки індикаторних (сигнальних) показників екологічного стану поверхневих вод доповненням коригуючими коефіцієнтами, що дозволяє з високою точністю прогнозувати екологічний стан водотоків. Така модель оптимізує екологічний моніторинг та управління екологічною безпекою басейну річки. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість довгострокового прогнозування екологічного стану водного об'єкту на основі спостереження за динамікою змін показників біохімічного споживання кисню та розчиненого кисню.

Удосконалено методичні підходи до формування системи екологічного моніторингу басейну, в тому числі за умов впливу несанкціонованого та аварійного скидів стічних вод техногенно-небезпечних об'єктів з метою оптимального управління екологічною безпекою басейну.

**Ключові слова:** екологічний стан, поверхневі води, управління екологічною безпекою, екологічний ризик, індикаторні (сигнальні) показники якості води, моніторинг вод.

## АННОТАЦИЯ

**Бессонный В. Л. Повышение экологической безопасности поверхностных источников водоснабжения путем усовершенствования бассейнового принципа управления водными ресурсами** – Квалификационная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 21.06.01 – «Экологическая безопасность». – Сумский государственный университет МОН Украины, Сумы, 2018.

В диссертации решена актуальная научно-практическая задача повышения уровня экологической безопасности поверхностных источников водоснабжения. Разработано методическое обеспечение эффективной реализации оптимальных форм управления экологической безопасностью на уровне речного бассейна.

Наиболее целесообразным методом для исследования динамики индикаторного (сигнального) показателя экологического состояния поверхностных вод можно считать модель Стритер – Фелпса и ее модификации (растворенный кислород – биохимическое потребление кислорода).

Рассчитанные значения показателя комплексного индекса загрязнения воды свидетельствуют о постоянном и устойчивом влиянии сточных вод Изюмского коммунально-производственного водно-канализационного предприятия на экологическое состояние реки Северский Донец.

Научно обоснован выбор и использование индикаторного (сигнального) показателя экологического состояния поверхностных вод для прогнозирования загрязнения водной среды. Доказано, что концентрация растворенного кислорода и биохимического потребления кислорода в водоеме с достаточно высокой достоверностью может быть применены как индикаторные (сигнальные) показатель экологического состояния водной среды.

Усовершенствована математическая модель динамики индикаторных (сигнальных) показателей экологического состояния поверхностных вод. Модель дополнена корректирующими коэффициентами, что позволяет с высокой точностью прогнозировать экологическое состояние. Такая модель оптимизирует экологический мониторинг и управление экологической безопасностью бассейна.

Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность долгосрочного прогнозирования экологического состояния водоемов на основе наблюдения за динамикой изменений показателей биохимического потребления кислорода и растворенного кислорода с применением модифицированной модели Стритера – Фелпса с учетом корректирующих коэффициентов.

Усовершенствовано методическое обеспечение формирования сети наблюдений за экологическим состоянием поверхностных водоемов, в том числе для случая аварийного или несанкционированного сброса сточных вод.

**Ключевые слова:** экологическое состояние, поверхностные воды, управление экологической безопасностью, экологический риск, индикаторный (сигнальный) показатель качества воды, мониторинг вод.



## ABSTRACT

***Bezsonnyi V. L.* The increasing of environmental safety of surface water sources by improving the basin water management principle. – Qualifying scientific work on the manuscript right.**

Thesis for a Candidate of Engineering Sciences Degree by specialty 21.06.01 – ecological safety. Sumy State University, 2018. Specialized Academic Council D 55.051.04.

The topical scientific and practical problem of increasing the ecological safety level of surface water sources has been solved in the thesis. Methodical support of effective implementation of optimal forms of environmental safety management at river basin level has been developed.

The most suitable method for studying the dynamics of the indicator (signal) index of the ecological state of surface waters can be considered the Streeter-Phelps model and its modifications (dissolved oxygen-biochemical oxygen consumption). Indices of dissolved oxygen and biochemical oxygen consumption were used as integral indicators of water body pollution. The simplicity of measuring the biochemical consumption of oxygen and dissolved oxygen makes this method preferable as one of the best standard methods for analyzing the ecological state of surface waters.

The calculated values of the complex index of water pollution testify to the constant and stable impact of sewage from the Izyum municipal industrial water and sewage plant on the ecological state of the Siverskiy Donetsk River.

The choice and use of the indicator (signal) index of the ecological state of surface waters for predicting water pollution is scientifically grounded. It is proved that the concentration of dissolved oxygen in a reservoir with a sufficiently high reliability can be applied as an integral indicator of the ecological state of the aquatic environment.

The mathematical model of the dynamics of indicator (signal) indicators of the surface waters ecological state has been improved. The model is supplemented with correcting coefficients, which allows to predict the ecological conditions of the reservoir with high accuracy and to evaluate the impact of technogenic-hazardous objects on surface waters.

The possibility of long-term forecasting of the ecological state of reservoirs on the basis of observing the dynamics of changes in the parameters of biochemical consumption of oxygen, dissolved oxygen was theoretically substantiated and experimentally confirmed. Forecasting is carried out using the modified Streeter-Phelps model taking into account the corrective coefficients.

Methodical support of crisis water monitoring, related to notification of emergencies, organization and conduct of observations of the ecological state of surface water bodies in case of emergency discharge of sewage, has been improved.

**Key words:** ecological state, surface waters, management of ecological safety, ecological risk, indicator (signal) index of water quality, monitoring of water.

Підписано до друку 20.08.2018.  
Формат 60х90/16. Ум. друк. арк. 1,1. Обл.-вид. арк. 0,9.  
Тираж 100 пр. Зам. №0820/3-18.

Надруковано з готового оригінал-макету у друкарні ФОП Петров В. В.  
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.  
Запис № 24800000000106167 від 08.01.2009 р.  
61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 78-17-137.  
e-mail: bookfabrik@mail.ua